

**ONTWIKKELING EN REALISATIE VAN EEN 900 cm<sup>2</sup>  
KLEURSTOF ZONNECEL MODULE**

M. Späth  
P.M. Sommeling  
D.R. Mahieu  
J.A.M. van Roosmalen  
J.M. Kroon

## Verantwoording

Dit werk is uitgevoerd onder Novem contractnummer 2020-01-12-11-005 "DSQ900".  
ECN projectnummer: 7.4599

In dit rapport zijn de activiteiten beschreven van het ontwerpen en fabriceren van een 30 x 30 cm<sup>2</sup> kleurstof zonnecel module op basis van TCO (transparent conductive oxide) glaselektrodes. Het concept was een primeur op het gebied van kleurstof zonnecel technologie, door toepassing van een 'current collecting' ontwerp.

## BESCHRIJVING VAN HET PROJECT

De kleurstof zonnecel (nc-DSC) technologie, heeft veel aandacht getrokken sinds de publicatie van O'Regan en Grätzel in 1991 [1]. Dit type zonnecel wordt gezien als een veelbelovende technologie door het inherente kostenreducerende potentieel. Het concept is gebaseerd op het gebruik van goedkope componenten, relatief eenvoudige technologie, ruime toepasbaarheid gezien de productdiversiteit en de hoge mate van standaardisatie.

Het werkingsprincipe van een kleurstof zonnecel verschilt wezenlijk van een conventionele anorganische zonnecel. In halfgeleider p-n juncties zijn de functies van lichtabsorptie en ladingstransport verenigd in één materiaal. Dit materiaal dient bijzonder zuiver te zijn om recombinatie van elektronen en gaten te voorkomen. In de kleurstof zonnecel vinden lichtabsorptie en ladingsscheiding in twee verschillende materialen plaats (kleurstof, titaandioxide) en is het mogelijk om zelfs met minder zuivere materialen een laag niveau van recombinatie te realiseren.

Invallend licht wordt geabsorbeerd door een kleurstof die als monolaag op een transparant nanoporeuze, oxidische halfgeleider ( $\text{TiO}_2$ ) is geadsorbeerd. De porositeit zorgt voor een enorme vergroting van het geometrische oppervlak en garandeert voldoende lichtabsorptie. Foto- excitatie van de kleurstof leidt tot elektronen injectie in de geleidingsband van het oxide. De geoxideerde kleurstof accepteert elektronen van jodide ionen die aanwezig zijn in een vloeibare elektrolyt. Het hierbij gevormde trijodide wordt aan de platina gecoate tegen-elektrode weer tot jodide gereduceerd. Via een externe verbruiker wordt het circuit gecompleteerd. Voor enkele cellen met een klein actief oppervlak ( $<1\text{cm}^2$ ) is 11% en voor een oppervlak van  $2,5\text{cm}^2$  is een energie conversie rendement van 8,2% gerealiseerd.

Het onderzoek naar de kleurstof zonnecel bij ECN is vooral gericht op de ontwikkeling en mechanisatie van productieprocessen voor de fabricage van grote oppervlakken.

In het recente verleden zijn kleurstof zonnecellen opgeschaald van laboratorium schaal tot een afmeting van  $10 \times 10\text{cm}^2$ . Deze zijn vervaardigd op speciaal voor dit doel ontworpen machines, welke in een 'baseline' zijn geïnstalleerd [2,3].

Na een succesvolle periode waarin kleurstof zonnecellen nauwkeurig en vooral reproduceerbaar op genoemde 'baseline' gemaakt zijn, is de volgende stap de fabricage van  $10 \times 10\text{cm}^2$  kleurstof modules, en opschaling naar  $30 \times 30\text{cm}^2$ . De modules bestaan uit vier in series geschakelde  $15 \times 15\text{cm}^2$  celcompartimenten.

Met het feitelijk ontwerp en vervaardiging van  $30 \times 30\text{cm}^2$  modules wordt een belangrijke stap gezet naar fabricage en beschikbaarheid van de kleurstof zonnecellen die geschikt zijn voor kleine PV systemen. Het formaat van  $30 \times 30\text{cm}^2$  is tevens belangrijk als bouwmaat, waarmee de aanzet wordt gegeven tot integratie van kleurstof zonnecellen in bouwelementen voor 'outdoor' toepassingen.

De ontwikkeling van  $30 \times 30\text{cm}^2$  kleurstof zonnecel modules is tevens een volgende stap gericht op het opschalen van  $10 \times 10\text{cm}^2$  zonnecellen naar een representatieve commerciële toepassing. Op het huidige niveau van  $10 \times 10\text{cm}^2$  zonnecellen blijven een aantal belangrijke vragen liggen op het gebied van opschaling. Deze zijn:

- glas-handling en processing
- geschiktheid van seal-materiaal en technieken
- invloed van oppervlakte op performance
- depositie van uniforme  $\text{TiO}_2$  lagen op grote oppervlakken
- ontwikkeling van kleur en elektrolyt vultechnieken
- elektrische interconnectie van de individuele celcompartimenten
- hermetisch afdichten van de modules (bestand tegen vocht/lucht/verdamping)

Dit project heeft als doel om 30 x 30 cm<sup>2</sup> modules te realiseren en daarmee bovenstaande vragen te beantwoorden op een schaal die technologisch en markttechnisch relevant is voor reële toepassingen. Bovendien kan het 'levende' bewijs van succesvolle opschaling een grote impact hebben op het vertrouwen in de technologie.

Om deze reden is de eerste doelstelling om twee types 30 x 30 cm<sup>2</sup> modules te realiseren. Het eerste type is qua ontwerp zeer eenvoudig en dient vooral voor beantwoording van belangrijke technologische vragen. Het tweede type (geavanceerd 'current collecting' module) dient ervoor om mee naar buiten te treden.

Voordat een geavanceerde 'current collecting' module met de afmeting 30 x 30 cm<sup>2</sup> kan worden gerealiseerd is de fabricage van een 10 x 10 cm<sup>2</sup> schaalmodel voorzien. Het doel is om aan te kunnen tonen dat het werkingsprincipe van de serie- schakeling op deze afmeting functioneert. Vervolgens wordt een vergelijkend onderzoek op performance gestart met als doel de seriegeschakelde module te vergelijken met 'state of the art' enkel cellen ('current collecting') zoals vervaardigd in het project 'Deagian', SenterNovem contractnummer 146.120-021.1. Daarnaast zal de serieschakeling van de 4 geïsoleerde celcompartimenten in de processing van kleurstof zonnecellen, alsmede de effecten op performance worden onderzocht. Verder wordt onderzocht of de extrinsieke stabiliteit van de module een thermische belasting van 85°gedurende 1000 uur doorstaat.

Een volgende doelstelling is om de mogelijkheid te bevestigen dat celcompartimenten op een 30 x 30 cm<sup>2</sup> elektrode elektrisch geïsoleerd kunnen worden met behulp van de laser-scribing technologie.

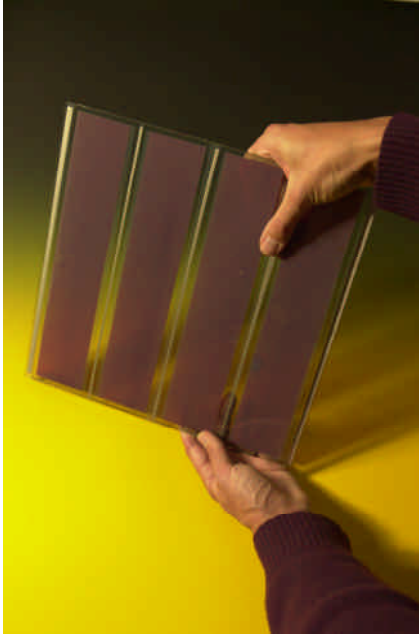
Na een begin te hebben gemaakt met de opbouw van een basis ontwerp 30 x 30 cm<sup>2</sup> module is deze gebruikt om praktijkervaring met deze afmeting op te doen en de verschillende fabricagefasen in kaart te brengen.

In een tussenfase is een schaalmodel van een 10 x 10 cm<sup>2</sup> module gefabriceerd met vier in serie geschakelde celcompartimenten. Deze module is voor het beproeven van het concept serieschakeling in combinatie met stroomcollectie ('current collection'). Er is voor deze afmeting gekozen omdat bij ECN veel ervaring aanwezig is met de bouw van 10 x 10 cm<sup>2</sup> kleurstof zonnecellen door het project 'Deagian'. In een performance vergelijk is van een 10 x 10 cm<sup>2</sup> 4 cels module de IV- karakteristiek bepaald. De resultaten hiervan zijn vergeleken met de IV- karakteristieken van een 10 x 10 cm<sup>2</sup> enkele cel (project 'Deagian'). Een module efficiency op actief oppervlak van 4,7 % is bereikt. Deze efficiency is gelijk aan de in het project 'Deagian' vervaardigde enkel cel onder vergelijkbare omstandigheden.

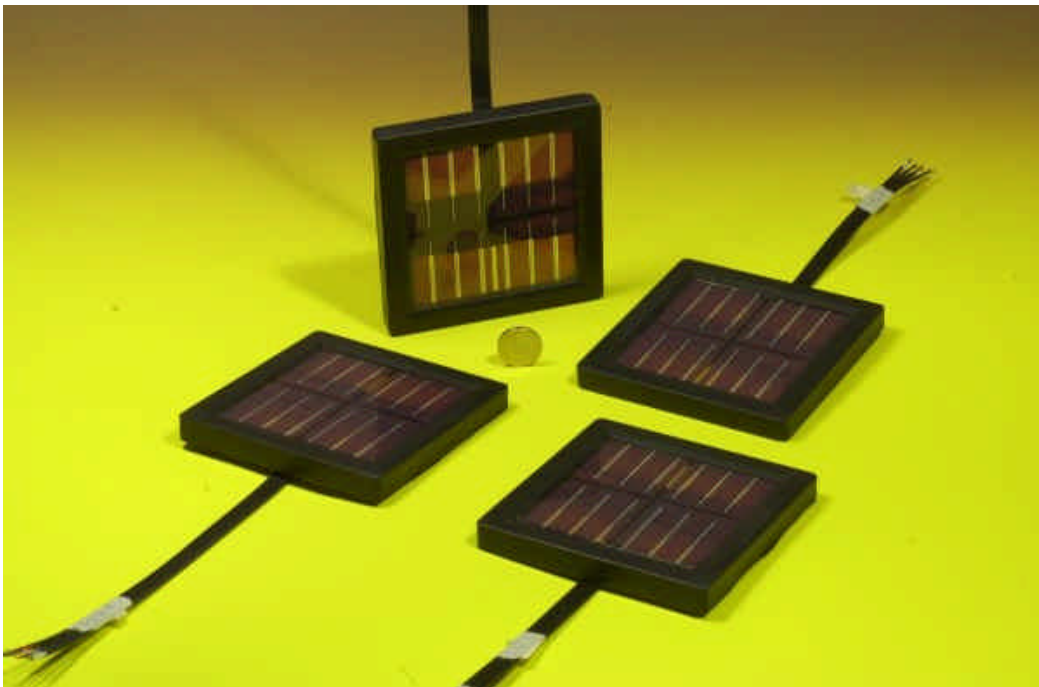
Het toepassen van serieschakeling in de processing van kleurstof zonnecellen en de gevolgen voor de performance zijn onderzocht. De behaalde rendementen, bepaald voor het actieve celoppervlak zijn identiek voor zowel een 'current collecting' module als voor een 'current collecting' enkel cel van de afmeting 10 x 10 cm<sup>2</sup>.

Het gebruik van laser-scribing voor het elektrische isoleren van de celcompartimenten is succesvol toegepast zowel op het 10 x 10 cm<sup>2</sup> als ook op het 30 x 30 cm<sup>2</sup> 'current collecting' module.

Er is aangetoond dat de fysieke stabiliteit van het 10 x 10 cm<sup>2</sup> module, 1000 uur bij 85°C (donker test) bereikt wordt, met het sealmateriaal Bynel.



*Foto: 30 x 30 cm<sup>2</sup> basis module*



*Foto: 10 x 10 cm<sup>2</sup> 'current collecting' modules met polyurethaan frame*

## REFERENTIES

- [1] O'Reagan B., Grätzel M., A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature* 1991; **353**:737-739.
- [2] Roosmalen, J.A.M. van; Späth, M.; Sommeling, P.M.; Burg, N.P.G. van der; Mahieu, D.R.; Kinderman, R.; Bakker, N.J.; Smit, H.J.P.; Kroon, J.M. Deagian end report; *ECN-CX--02-099*, voorlopige publicatiedatum 09- 2002.
- [3] Späth M., Sommeling P.M., Roosmalen J.A.M van, Smit H.J.G, Burg N.P.G van der, Mahieu D.R., Bakker N.J., Kroon J.M., Reproducible manufacturing of dye sensitized solar cells on a semi automated baseline, Article submitted to: *Progress in photovoltaics*.